

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Parcial Práctico 2 – Programación Paralela

Trabajo realizado por:

Juan Diego Rojas Valdés

Docente:

Jefferson Peña Torres

Cali, 15 de octubre de 2025

1. Introducción:

La programación paralela es beneficiosa en gran cantidad de aplicaciones, debido a que permite una mayor eficiencia a la hora de correr ciertos programas, pues en lugar de ejecutar cada instrucción de manera secuencial, utiliza la arquitectura de una computadora al máximo y permite que las tareas sean divididas en los diferentes procesadores.

Uno de los usos que puede tener este enfoque es en la realización de algoritmos de solución del juego del 15, que consiste en reacomodar un tablero de 4 x 4 con 15 fichas con letras y una vacía, de tal manera que las letras queden ordenadas alfabéticamente de izquierda a derecha y de arriba abajo.

2. Desarrollo de la práctica:

2.1. Secuencial (Tarea 10):

El primer paso para desarrollar la práctica fue la realización de las versiones secuenciales de los algoritmos planteados. Las soluciones obtenidas fueron las siguientes:

a. BSP:

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Nodos expandidos: 6

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000558031 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO

Nodos expandidos: 10

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000520829 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO

Nodos expandidos: 10

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00052883 segundos

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Nodos expandidos: 6

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000794544 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL

Nodos expandidos: 15

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000379621 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO

Nodos expandidos: 10

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000410023 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO

Nodos expandidos: 10

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000339819 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO

Nodos expandidos: 10

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000311717 segundos

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Nodos expandidos: 6

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000302017 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL

Nodos expandidos: 15

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000318818 segundos

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL

Nodos expandidos: 52

Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000401123 segundos

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL
Nodos expandidos: 52
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000391722 segundos

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL
Nodos expandidos: 40
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000368721 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHINJLM#KO
Nodos expandidos: 39
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.00036862 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJLOMNK#
Nodos expandidos: 26
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000349119 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJOKMNL#
Nodos expandidos: 37
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.00036702 segundos

Procesando tablero: ABCDE#GHIFKLMJNO
Nodos expandidos: 44
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000375621 segundos

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL
Nodos expandidos: 40
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000366121 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGH#JKLIMNO
Nodos expandidos: 39
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000459725 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGH#IKLMJNO
Nodos expandidos: 49
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000390122 segundos

Procesando tablero: #AGCEBFDIJKHMNOL
Nodos expandidos: 730
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.00191121 segundos

Procesando tablero: AFBCE#HDIJGKMNOL
Nodos expandidos: 832
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: -0.000466175 segundos

Procesando tablero: EABCIFGD#JKHMNOL
Nodos expandidos: 585
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.0018274 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGH#MKLJINO
Nodos expandidos: 763
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.00214112 segundos

Procesando tablero: ABCDEFL#IJHGMNKO

Nodos expandidos: 743

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.00190581 segundos

Procesando tablero: ABCDE#GHMFJKNIO

Nodos expandidos: 865

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.00224202 segundos

Procesando tablero: ABCDFGKHEI#LMJNO

Nodos expandidos: 877

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.00225583 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHMIJLNKO#

Nodos expandidos: 858

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.00222662 segundos

Procesando tablero: EACDB#GHIFKLMJNO

Nodos expandidos: 1093

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.00293786 segundos

Procesando tablero: AFBCIEGD#JKHMNOL

Nodos expandidos: 617

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.00193621 segundos

Procesando tablero: ABDHEFGCIJ#LMNKO

Nodos expandidos: 886

Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.00243154 segundos

Procesando tablero: FBDHAEC#IJGKMNOL
Nodos expandidos: 11575
Longitud de la solución: 12
Resultado: 12
Tiempo de ejecución: 0.0276179 segundos

Procesando tablero: ABCDEGOHIJFLM#KN
Nodos expandidos: 56746
Longitud de la solución: 14
Resultado: 14
Tiempo de ejecución: 0.172789 segundos

Procesando tablero: EC#DBAJHIGFLMNKO
Nodos expandidos: 61381
Longitud de la solución: 14
Resultado: 14
Tiempo de ejecución: 0.174644 segundos

Procesando tablero: BGDHACF#ENJLIMKO
Nodos expandidos: 177669
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.577594 segundos

Procesando tablero: BCGDAFJH#EKLINMO
Nodos expandidos: 267216
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.975657 segundos

Procesando tablero: BCDHAFGOEJLKIMN#
Nodos expandidos: 129438
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.417872 segundos

Procesando tablero: AFBGEJKC#NHDIMOL

Nodos expandidos: 206195

Longitud de la solución: 16

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.661408 segundos

Procesando tablero: EB#CFJGDAIKHMNOL

Nodos expandidos: 264357

Longitud de la solución: 16

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.937712 segundos

Procesando tablero: FCGDBAKH#EJLIMNO

Nodos expandidos: 277922

Longitud de la solución: 16

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 1.00224 segundos

Procesando tablero: BGFCAJLDENKHI#MO

(No terminó de ejecutarse y crasheó mi PC)

b. H1:

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Nodos expandidos: 3

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00108037 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO

Nodos expandidos: 3

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00089086 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO

Nodos expandidos: 3

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000754851 segundos

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000498433 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000490434 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000404328 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000456931 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000427028 segundos

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000380526 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.00029842 segundos

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000302821 segundos

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000305321 segundos

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.00030482 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHINJLM#KO
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000358224 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJLOMNK#
Nodos expandidos: 6
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000332322 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJOKMNL#
Nodos expandidos: 6
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.00030592 segundos

Procesando tablero: ABCDE#GHIFKLMJNO
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000354824 segundos

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL

Nodos expandidos: 5

Longitud de la solución: 4

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000305821 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGH#JKLIMNO

Nodos expandidos: 5

Longitud de la solución: 4

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000302521 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGH#IKLMJNO

Nodos expandidos: 5

Longitud de la solución: 4

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000306521 segundos

Procesando tablero: #AGCEBFDIJKHMNOL

Nodos expandidos: 9

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000350124 segundos

Procesando tablero: AFBCE#HDIJGKMNOL

Nodos expandidos: 9

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000350724 segundos

Procesando tablero: EABCIFGD#JKHMNOL

Nodos expandidos: 9

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000316621 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGH#MKLJINO

Nodos expandidos: 21
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000423929 segundos

Procesando tablero: ABCDEFL#IJHGMNKO
Nodos expandidos: 27
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000387126 segundos

Procesando tablero: ABCDE#GHMFJKNIO
Nodos expandidos: 13
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000347324 segundos

Procesando tablero: ABCDFGKHEI#LMJNO
Nodos expandidos: 9
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000320822 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHMIJLNKO#
Nodos expandidos: 12
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000340223 segundos

Procesando tablero: EACDB#GHIFKLMJNO
Nodos expandidos: 14
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000377525 segundos

Procesando tablero: AFBCIEGD#JKHMNOL
Nodos expandidos: 9
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000372225 segundos

Procesando tablero: ABDHEFGCIJ#LMNKO
Nodos expandidos: 23
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000365324 segundos

Procesando tablero: FBDHAEC#IJGKMNOL
Nodos expandidos: 51
Longitud de la solución: 12
Resultado: 12
Tiempo de ejecución: 0.000478532 segundos

Procesando tablero: ABCDEGOHIJFLM#KN
Nodos expandidos: 346
Longitud de la solución: 14
Resultado: 14
Tiempo de ejecución: 0.00170521 segundos

Procesando tablero: EC#DBAJHIGFLMNKO
Nodos expandidos: 109
Longitud de la solución: 14
Resultado: 14
Tiempo de ejecución: 0.000677646 segundos

Procesando tablero: BGDHACF#ENJLIMKO
Nodos expandidos: 52
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.000484633 segundos

Procesando tablero: BCGDAFJH#EKLINMO
Nodos expandidos: 222
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.00113188 segundos

Procesando tablero: BCDHAFGOEJLKIMN#
Nodos expandidos: 76
Longitud de la solución: 16

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.000557138 segundos

Procesando tablero: AFBGEJKC#NHDIMOL

Nodos expandidos: 183

Longitud de la solución: 16

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.000981367 segundos

Procesando tablero: EB#CFJGDAIKHMNOL

Nodos expandidos: 395

Longitud de la solución: 16

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.00171422 segundos

Procesando tablero: FCGDBAKH#EJLIMNO

Nodos expandidos: 205

Longitud de la solución: 16

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.00107487 segundos

Procesando tablero: BGFCAJLDENKHI#MO

Nodos expandidos: 692

Longitud de la solución: 20

Resultado: 20

Tiempo de ejecución: 0.00310731 segundos

Procesando tablero: AFCGIEBD#NKHJMOL

Nodos expandidos: 9850

Longitud de la solución: 22

Resultado: 22

Tiempo de ejecución: 0.0417037 segundos

c. H2:

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Nodos expandidos: 3

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000882462 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000858761 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000792756 segundos

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.00100217 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000947367 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000867362 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000822658 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO
Nodos expandidos: 3
Longitud de la solución: 2
Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000815758 segundos

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Nodos expandidos: 3

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000780255 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL

Nodos expandidos: 3

Longitud de la solución: 2

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000467733 segundos

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL

Nodos expandidos: 5

Longitud de la solución: 4

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000512936 segundos

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL

Nodos expandidos: 5

Longitud de la solución: 4

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000445232 segundos

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL

Nodos expandidos: 5

Longitud de la solución: 4

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.00043953 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHINJLM#KO

Nodos expandidos: 5

Longitud de la solución: 4

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000517736 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJLOMNK#

Nodos expandidos: 5

Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000409329 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHIJOKMNL#
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000377026 segundos

Procesando tablero: ABCDE#GHIFKLMJNO
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000385327 segundos

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000380327 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGH#JKLIMNO
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000324122 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGH#IKLMJNO
Nodos expandidos: 5
Longitud de la solución: 4
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000394528 segundos

Procesando tablero: #AGCEBFDIJKHMNOL
Nodos expandidos: 9
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000352824 segundos

Procesando tablero: AFBCE#HDIJGKMNOL
Nodos expandidos: 9
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000350725 segundos

Procesando tablero: EABCIFGD#JKHMNOL
Nodos expandidos: 9
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000339924 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGH#MKLJINO
Nodos expandidos: 18
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000387127 segundos

Procesando tablero: ABCDEFL#IJHGMNKO
Nodos expandidos: 17
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000398228 segundos

Procesando tablero: ABCDE#GHMFJKNIO
Nodos expandidos: 12
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000378327 segundos

Procesando tablero: ABCDFGKHEI#LMJNO
Nodos expandidos: 9
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000355125 segundos

Procesando tablero: ABCDEFGHMIJLNKO#
Nodos expandidos: 10
Longitud de la solución: 8
Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000349725 segundos

Procesando tablero: EACDB#GHIFKLMJNO

Nodos expandidos: 13

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000371826 segundos

Procesando tablero: AFBCIEGD#JKHMNOL

Nodos expandidos: 9

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000369126 segundos

Procesando tablero: ABDHEFGCIJ#LMNKO

Nodos expandidos: 15

Longitud de la solución: 8

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000394728 segundos

Procesando tablero: FBDHAEC#IJGKMNOL

Nodos expandidos: 29

Longitud de la solución: 12

Resultado: 12

Tiempo de ejecución: 0.000543138 segundos

Procesando tablero: ABCDEGOHIJFLM#KN

Nodos expandidos: 99

Longitud de la solución: 14

Resultado: 14

Tiempo de ejecución: 0.00101287 segundos

Procesando tablero: EC#DBAJHIGFLMNKO

Nodos expandidos: 42

Longitud de la solución: 14

Resultado: 14

Tiempo de ejecución: 0.000577141 segundos

Procesando tablero: BGDHACF#ENJLIMKO

Nodos expandidos: 26

Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.000472833 segundos

Procesando tablero: BCGDAFJH#EKLINMO
Nodos expandidos: 89
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.000864661 segundos

Procesando tablero: BCDHAFGOEJLKIMN#
Nodos expandidos: 19
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.000402029 segundos

Procesando tablero: AFBGEJKC#NHDIMOL
Nodos expandidos: 18
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.000400329 segundos

Procesando tablero: EB#CFJGDAIKHMNOL
Nodos expandidos: 151
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.00133439 segundos

Procesando tablero: FCGDBAKH#EJLIMNO
Nodos expandidos: 35
Longitud de la solución: 16
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.000506636 segundos

Procesando tablero: BGFCAJLDENKHI#MO
Nodos expandidos: 115
Longitud de la solución: 20
Resultado: 20
Tiempo de ejecución: 0.00103167 segundos

Procesando tablero: AFCGIEBD#NKHJMOL

Nodos expandidos: 1168

Longitud de la solución: 22

Resultado: 22

Tiempo de ejecución: 0.00913954 segundos

Como se puede notar en los resultados obtenidos, la opción más eficiente fue la del algoritmo A* con la 2da heurística. No solo toma en general menos tiempo para cada ejecución, sino que se puede notar que su expansión es muchísimo menor que en los demás. Por ejemplo, el último caso que se pudo ejecutar para todos los algoritmos, con la segunda heurística toma 35 nodos, mientras que con la primera toma 205, y con la técnica de BFS, la menos eficiente, toma 277922 nodos. Tanto así que en las dos ejecuciones siguientes, mi computador no dio más y no logró completar las ejecuciones.

2.2. Paralelismo (Tarea 11):

El siguiente paso para desarrollar versiones paralelas de los algoritmos ya elaborados. Las soluciones obtenidas fueron las siguientes:

a. BSP:

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.0018114 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00168859 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000667036 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00111636 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.011068 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00721189 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00684767 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00925459 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00913319 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.0106144 segundos.

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.012917 segundos.

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.0103728 segundos.

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.0128706 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHINJLM#KO

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.0135638 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJLOMNK#

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.0114946 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJOKMNL#

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.0110513 segundos.

Procesando tablero: ABCDE#GHIFKLMJNO

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.0107193 segundos.

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.015408 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGH#JKLIMNO

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.0107358 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGH#IKLMJNO

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.0117045 segundos.

Procesando tablero: #AGCEBFDIJKHMNOL

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.00509327 segundos.

Procesando tablero: AFBCE#HDIJGKMNOL

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.0296343 segundos.

Procesando tablero: EABCIFGD#JKHMNOL

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.0274206 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGH#MKLJINO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.0298312 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFL#IJHGMNKO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.0278503 segundos.

Procesando tablero: ABCDE#GHMFJKNIO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.0250291 segundos.

Procesando tablero: ABCDFGKHEI#LMJNO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.0226467 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHMIJLNKO#

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.0267876 segundos.

Procesando tablero: EACDB#GHIFKLMJNO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.027506 segundos.

Procesando tablero: AFBCIEGD#JKHMNOL

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.0233321 segundos.

Procesando tablero: ABDHEFGCIJ#LMNKO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.0291937 segundos.

Procesando tablero: FBDHAEC#IJGKMNOL

Resultado: 12

Tiempo de ejecución: 0.114722 segundos.

Procesando tablero: ABCDEGOHIJFLM#KN

Resultado: 14

Tiempo de ejecución: 0.205574 segundos.

Procesando tablero: EC#DBAJHIGFLMNKO

Resultado: 14

Tiempo de ejecución: 0.284979 segundos.

Procesando tablero: BGDHACF#ENJLIMKO

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 1.40901 segundos.

Procesando tablero: BCGDAFJH#EKLINMO

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.957482 segundos.

Procesando tablero: BCDHAFGOEJLKIMN#

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.895185 segundos.

Procesando tablero: AFBGEJKC#NHDIMOL

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 1.28135 segundos.

Procesando tablero: EB#CFJGDAIKHMNOL

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 1.58762 segundos.

Procesando tablero: FCGDBAKH#EJLIMNO

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 1.20119 segundos.

Procesando tablero: BGFCAJLDENKHI#MO

(Nuevamente, al igual que con la versión secuencial, mi PC crasheó)

Como se puede notar, en general, los resultados no son mucho mejores en comparación con las versiones secuenciales del código. No solo el PC crasheó nuevamente de la misma manera en que lo hizo en la ejecución secuencial, los tiempos son incluso peores en general. Para este ejercicio en particular quizás convenga más utilizar la versión secuencial del algoritmo.

b. H1:

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.0113472 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000205415 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00013991 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.00014291 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000187014 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000417331 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#LMNKO
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000155411 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJKLM#NO
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000147012 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFG#IJKHMNOL
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000117009 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJ#KMNOL
Resultado: 2
Tiempo de ejecución: 0.000153712 segundos.

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000298023 segundos.

Procesando tablero: AB#CEFGDIJKHMNOL
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000319224 segundos.

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000298022 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHINJLM#KO
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000356727 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJLOMNK#
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000219817 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHIJOKMNL#
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000238518 segundos.

Procesando tablero: ABCDE#GHIFKLMJNO
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000299723 segundos.

Procesando tablero: AB#DEFCGIJKHMNOL
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.00025782 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGH#JKLIMNO
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.000299223 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGH#IKLMJNO
Resultado: 4
Tiempo de ejecución: 0.00026662 segundos.

Procesando tablero: #AGCEBFDIJKHMNOL
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000813962 segundos.

Procesando tablero: AFBCE#HDIJGKMNOL
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000744257 segundos.

Procesando tablero: EABCIFGD#JKHMNOL
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000646849 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGH#MKLJINO
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000703453 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFL#IJHGMNKO
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000763358 segundos.

Procesando tablero: ABCDE#GHMFJKNIO
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000729755 segundos.

Procesando tablero: ABCDFGKHEI#LMJNO
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000753058 segundos.

Procesando tablero: ABCDEFGHMIJLNKO#
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.00066175 segundos.

Procesando tablero: EACDB#GHIFKLMJNO
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000705854 segundos.

Procesando tablero: AFBCIEGD#JKHMNOL
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000680952 segundos.

Procesando tablero: ABDHEFGCIJ#LMNKO
Resultado: 8
Tiempo de ejecución: 0.000728455 segundos.

Procesando tablero: FBDHAEC#IJGKMNOL
Resultado: 12
Tiempo de ejecución: 0.0012747 segundos.

Procesando tablero: ABCDEGOHIJFLM#KN
Resultado: 14
Tiempo de ejecución: 0.00403741 segundos.

Procesando tablero: EC#DBAJHIGFLMNKO
Resultado: 14
Tiempo de ejecución: 0.00139121 segundos.

Procesando tablero: BGDHACF#ENJLIMKO
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.00159912 segundos.

Procesando tablero: BCGDAFJH#EKLINMO
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.0025547 segundos.

Procesando tablero: BCDHAFGOEJLKIMN#
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.00154282 segundos.

Procesando tablero: AFBGEJKC#NHDIMOL
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.00151431 segundos.

Procesando tablero: EB#CFJGDAIKHMNOL
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.00618777 segundos.

Procesando tablero: FCGDBAKH#EJLIMNO
Resultado: 16
Tiempo de ejecución: 0.014243 segundos.

Procesando tablero: BGFCAJLDENKHI#MO
Resultado: 20
Tiempo de ejecución: 0.00679502 segundos.

Procesando tablero: AFCGIEBD#NKHJMOL
Resultado: 22
Tiempo de ejecución: 0.090911 segundos.

Al igual que en el caso anterior, cabe notarse que la diferencia entre la versión secuencial y la versión paralela del algoritmo no es demasiado amplia, e incluso en muchos de los casos, resulta más eficiente la versión secuencial.

c. H2:

Procesando tablero:ABCDEFGH#IJKHMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.00135947 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGH#LMNKO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 9.3505e-05 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGHIJKLM#NO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 8.6105e-05 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGH#IJKHMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000244313 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGH#KMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 8.9704e-05 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGHIJKLM#NO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 8.1104e-05 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGH#LMNKO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000273914 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGHIJKLM#NO

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 0.000170909 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGH#IJKHMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 8.2204e-05 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGHIJ#KMNOL

Resultado: 2

Tiempo de ejecución: 9.0504e-05 segundos.

Procesando tablero:AB#CEFGDIJKHMNOL

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000240313 segundos.

Procesando tablero:AB#CEFGDIJKHMNOL

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.00019151 segundos.

Procesando tablero:AB#DEFCGIJKHMNOL

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.00017761 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGHINJLM#KO

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000520228 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGHIJLOMNK#

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000151708 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGHIJOKMNL#

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000135607 segundos.

Procesando tablero:ABCDE#GHIFKLMJNO

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000208011 segundos.

Procesando tablero:AB#DEFCGIJKHMNOL

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000236313 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGH#JKLMINO

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.000164109 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGH#IKLMJNO

Resultado: 4

Tiempo de ejecución: 0.00018801 segundos.

Procesando tablero:#AGCEBFDIJKHMNOL

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000498326 segundos.

Procesando tablero:AFBCE#HDIJGKMNOL

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000938049 segundos.

Procesando tablero:EABCIFGD#JKHMNOL

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000516628 segundos.

Procesando tablero:ABCDEFGH#MKLJINO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000450723 segundos.

Procesando tablero:ABCDEF#IJHGMNKO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000456624 segundos.

Procesando tablero:ABCDE#GHMFJKNOL

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000485326 segundos.

Procesando tablero:ABCDFGKHEI#LMJNO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000513927 segundos.

Procesando tablero:ABCDEF GHMIJLNKO#

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000430822 segundos.

Procesando tablero:EACDB#GHIFKLMJNO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000629833 segundos.

Procesando tablero:AFBCIEGD#JKH MNOL

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000459824 segundos.

Procesando tablero:ABDHEFGCIJ#LMNKO

Resultado: 8

Tiempo de ejecución: 0.000473725 segundos.

Procesando tablero:FBDHAEC#IJGKM NOL

Resultado: 12

Tiempo de ejecución: 0.000771841 segundos.

Procesando tablero:ABCDEGOHIJFLM#KN

Resultado: 14

Tiempo de ejecución: 0.000861945 segundos.

Procesando tablero:EC#DBAJHIGFLMNKO

Resultado: 14

Tiempo de ejecución: 0.00142578 segundos.

Procesando tablero:BGDHACF#ENJLIMKO

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.00103335 segundos.

Procesando tablero:BCGDAFJH#EKLINMO

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.00108706 segundos.

Procesando tablero:BCDHAFGOEJLKIMN#

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.00109836 segundos.

Procesando tablero:AFBGEJKC#NHDIMOL

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.00121376 segundos.

Procesando tablero:EB#CFJGDAIKHMNOL

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.00119096 segundos.

Procesando tablero:FCGDBAKH#EJLIMNO

Resultado: 16

Tiempo de ejecución: 0.00103195 segundos.

Procesando tablero:BGFCAJLDENKHI#MO

Resultado: 20

Tiempo de ejecución: 0.00132057 segundos.

Procesando tablero: AFCGIEBD#NKHJMOL

Resultado: 22

Tiempo de ejecución: 0.00685886 segundos.

Para este algoritmo hay resultados un poco más variados, ya que se ve cómo en algunos se logra una mejoría (aunque no demasiado significativa), mientras que en otros casos no. En particular, se destaca que en la versión paralela, a medida que aumenta la complejidad de los casos, su eficiencia parece ser menor que la versión secuencial, a excepción del último caso (el de complejidad más alta) donde nuevamente, vuelve a triunfar la versión paralela, por apenas unos 0.0030 segundos aproximadamente.

2.3. Secuencial (Tarea 12):

Para la última parte de la práctica, se desarrolló una modificación a los algoritmos secuenciales que permitía aumentar el tamaño del tablero a 64 (8 x 8), 256 (16 x 16) o 1024 (32 x 32) casillas, esto con el fin de medir la complejidad de los mismos. Para esto, se plantearon casos de prueba delimitados, para evitar problemas de crasheo ya vistos en otras ejecuciones.

En particular, se decidió que, con el fin de evitar este tipo de problemas, se ejecutaría cada versión con los siguientes tableros iniciales:

a. 8 x 8:

"ABCDEFGH IJKLMNOPQRSTUVWXYZ ABCDEFGH IJKLMNOPQRSTUVWXYZ ABCD#EFGHIJK"

Para este tablero se obtuvieron los siguientes resultados:

Nodos expandidos: 738

Longitud de la solución: 7

Resultado: 7

Tiempo de ejecución: 0.009274 segundos

b. 16 x 16:

*"ABCDEFGH IJKLMNOPQRSTUVWXYZ ABCDEFGH IJKLMNOPQRSTUVWXYZ
YZ ABCDEFGH IJKLMNOPQRSTUVWXYZ ABCDEFGH IJKLMNOPQRSTUVWXYZ
WXYZ ABCDEFGH IJKLMNOPQRSTUVWXYZ ABCDEFGH IJKLMNOPQRST
UVWXYZ ABCDEFGH IJKLMNOPQRSTUVWXYZ ABCDEFGH IJKLMNOPQR"*

STUVWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJK#LMNOP
QRSTU”

Para este tablero se obtuvieron los siguientes resultados:

Nodos expandidos: 39077

Longitud de la solución: 10

Resultado: 10

Tiempo de ejecución: 0.305215 segundos

c. 32 x 32:

“ABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWV
YZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTU
WXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRST
UVWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQR
STUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMN
QRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKL
MNOPQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHI
JKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHI
JKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEF
GHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCD
EFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZAB
CDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZ
ABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWV
WXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRST
UVWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQR
STUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMN
QRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHIJKL
MNOPQRSTUWXYZABCDEFGHIJKLMNQRSTUWXYZABCDEFGHI
JKLMNQRSTUWV#ABCDEFGHI”

Para este tablero se obtuvieron los siguientes resultados:

Nodos expandidos: 40553

Longitud de la solución: 10

Resultado: 10

Tiempo de ejecución: 0.475577 segundos

Como se logra apreciar, a medida que se aumenta el tamaño del tablero, aumenta la complejidad de la solución, incluso aunque la solución sea del mismo tamaño (como se ve en los tableros 16 x 16 y 32 x 32). Esto afecta tanto a la complejidad espacial como a la temporal, como se puede apreciar.

3. Conclusiones:

En general, los resultados obtenidos muestran que la paralelización de los algoritmos de búsqueda para el Juego del 15 no produjo mejoras significativas en el rendimiento respecto a sus versiones secuenciales. Aunque la implementación paralela permitió distribuir parte del espacio de búsqueda entre varios hilos, el alto grado de dependencia entre estados y la naturaleza inherentemente secuencial de la expansión de nodos limitaron el aprovechamiento real del paralelismo. Además, la sobrecarga asociada a la creación, sincronización y comunicación entre hilos terminó compensando cualquier posible ganancia de velocidad, especialmente en tableros pequeños como el 4×4. Sin embargo, se observó que al incrementar el tamaño del tablero y, por tanto, el espacio de búsqueda, las versiones paralelas comienzan a mostrar un comportamiento más favorable, lo que sugiere que el paralelismo resulta más beneficioso en escenarios de mayor complejidad computacional. En conclusión, aunque el paralelismo no generó mejoras notables en este caso, permitió comprender los límites y desafíos prácticos de aplicar técnicas concurrentes a problemas de búsqueda altamente dependientes y con estructuras de datos compartidas.